Petrochemische Untersuchungen an „Quarzphylliten" der Waldheimat bei Krieglach (Steiermark)

Von JOSEF HANSELMAYER, Graz

Mit 1 Diagramm

(Vorgelegt in der Sitzung am 16. Dezember 1965)

Herrn Univ.-Prof. Dr. F. MACHATSCHKI zu seinem 70. Geburtstag gewidmet

I. Einleitung

Über die Petrographie von Gesteinen aus „Quarzphyllit"-Gebieten liegen nur spärliche Nachrichten vor, bezügliche chemische Analysen sind noch seltener. Der Verfasser hat daher vor kurzem einen ersten Einblick in die Petrographie von „Quarzphylliten" aus der Waldheimat gegeben, HANSELMAYER 1965. Nun werden auch chemische Daten vorgelegt.

II. Physiographie der bearbeiteten Gesteine

1. Phyllitischer Zweiglimmerschiefer

Gestein graubräunlich, dünnschiefrig, am Hauptbruch leicht wellig, auf s-Flächen feinstschuppige bronzebraune Biotitblättchen. Aufschluß am Straßenrand, 80 m straßenabwärts (gegen Krieglach) vom Alpengasthof.

U. d. M. (Schliff nach ac):

Quarz nicht undulös, verteilt auf verschiedene Korngrößen, z. B. vereinzelt bis 2,0 × 0,45 mm oder 0,36 × 0,25 mm oder 0,10 × 0,07 mm. Form schwach plattig bis isometrisch, Verband pflasterförmig. Kornränder glatt bis schwach buchtig, nur die größten Körner fein gezähnt. In den glimmerreichen Lagen gelegentlich ebenfalls Quarzeinsprossung, noch feineres Korn mit ⌀ bis 0,03 mm.

Biotit: X = hellbräunlichgelb, YZ = dunkelbraun. Querschnitts-∅ bis 2,0 × 0,2 mm, meist aber kleiner.

Muskowit überwiegend mit ∅ (001) von 0,24—0,4 mm und Dicken von 0,05—0,12 mm, kleinere um 0,16 × 0,06 mm. Quermuskowite mit ∅ um 0,32 × 0,11 Millimeter.

Goethit sowohl auf Längsbruch als auch auf Scherfugen. Limonit.

Pseudomorphosen aus Serizit, vermutlich nach Disthen, ∅ bis 0,48 × 0,12 mm, farblos.

Vereinzelt Apatit, Xenotim, Ilmenittäfelchen, Siderit.

Struktur grano- bis lepidoblastisch. Die blätterigen Mineralien bilden lagenhafte Filze, vielfach überwiegt weitaus der Muskowit, zwischendurch gibt es dünnere biotitreiche Lagen. In letzteren treten relativ häufig Quermuskowite auf. Zwischen diesen Lagen stecken flachlinsenförmige Quarzgewebekörper.

Geologische Situation: Die Örtlichkeit, N bis NW vom Alpengasthof, liegt im Einflußhof der Granitisation, welche mit dem Grobgranit verbunden ist. Nachdem in weiter entfernten Lagen im „Quarzphyllit" keine solchen biotitreichen Schiefer mehr auftreten, darf man erwägen, daß der beschriebene Zweiglimmerschiefer aus der normalen „Quarzphyllit"-Fazies dieses Gebietes unter dem Einfluß der Granitisation neu gebildet worden ist.

2. Phyllonitisch-diaphthoritischer „Quarzphyllit"

Albit-Chlorit-Glimmerschiefer mit Relikten von Almandin, Biotit und Disthen.

Dieses Gestein ist grünlichgrau und auf s serizitschimmernd. In der serizitischen Masse befinden sich einzelne dunkelgrüne Knötchen und Flasern. Das Gestein ist feinschiefrig, die Oberfläche uneben. Entnahmestelle: 280 m straßenaufwärts vom Alpengasthof.

U. d. M. (Schnitt nach Q):

Quarz: Zahngewebe, einige Körner mit BÖHMscher Streifung, manche gelängt. Korngrößenwechsel, ∅ von 0,03—0,08 mm, von 0,16—0,40 mm, selten bis 0,8 mm. In Faltenkellern Pflasterquarz.

Albit ohne Fülle, unregelmäßig begrenzt, im Glimmergewebe Holoblasten, aber nicht Porphyroblasten. ∅ bis 0,2 mm.

Muskowit-Serizit: In Paketen, z. B. bis 0,24 × 0,02 mm oder 0,45 × 0,03 Millimeter, Quermuskowite bis 0,5 × 0,25 mm.

Biotit: X = blaßgelb, YZ = braun, kleine Fetzchen, ganz vereinzelt.

Prochlorit: Z = blaßgraugelb, XY = kräftig grasgrün, anomale Polarisationsfarbe schwankend zwischen rotviolett und blauviolett, in letzterem Falle X = c. Doppelbrechung zwischen 0,000 und ± 0,002. ∅ z. B. 0,24 × 0,05 mm (Dicke).

Disthen: Körnchen (∅ um 0,05 mm) und Körnchengruppen.

Turmalin: X = licht violettgrau, Z = dunkelgraugrün mit ditrigonalem Prisma, manche Basisschnitte mit hellgrauem Kern mit schmutziggraugrüner Hülle. Gut eingeregelt, [0001] parallel zu b (Gestein). ∅ bis 0,1 mm.

Almandin blaßrosa, zertrümmert und in s auseinandergezogen, einige Trümmer in Chloritisierung begriffen. ∅ bis 1,2 mm.

Apatit selten, Ilmenit, Titanit, Limonit, Goethit spärlich.

Das Gesteinsgewebe besteht aus quarzreichen Partien und reinen Quarzpartien in Gestalt von Linsen, kurzen Lagen oder Zeilen, alternierend mit einem sehr glimmerreichen Gewebe (durch metamorphe Differentiation starke Konzentration der Glimmer in Lagen), in denen sich auch der Chlorit und der Albit befinden. Ein Großteil des Glimmerbestandes ist schon zum Serizit zu rechnen, aber in ihm sind noch Fetzen enthalten mit Tafeldicken bis etwa über 0,2 mm, welche nur Überreste von proterogenem Muskowit sein können. Die in Chloritisierung befindlichen und zerlegten Granaten findet man mehr in den quarzreichen Partien. Die Ilmenittafeln folgen dem s glimmerreicher Gewebeteile. Der Turmalin tritt in Schwärmen auf, in enger Verbindung mit den serizit- und chloritreichen Gewebepartien, aber nur lokal konzentriert.

Die Glimmer und Chlorite sind fast alle parallel ausgerichtet, und nur selten findet man sehr spitze Scherfaltenköpfe. Der Zustand der Glimmer ist im Gegensatz zu dem der Chlorite im größeren Ausmaß noch tektonoklastisch mit beschränkter Rekristallisation. Das Quarzgewebe ist gut rekristallisiert. Es ist zwar nur sehr wenig Biotit vorhanden, aber dieser deutet an, daß zumindest ein Teil des Chlorites nach Biotit gebildet worden ist. Mit der Diaphthorese ist in das Serizit-Chlorit-Gewebe auch etwas Albit einkristallisiert.

Das Muttergestein war ein ehemaliger Granatglimmerschiefer mit spärlicher Disthenführung. Die jüngere Entwicklung des Gesteines führt über Kataklase und Durchbewegung zu diaphthoritischer Rekristallisation.

3. Phyllonitisch-diaphthoritischer „Quarzphyllit"

Albit-führender Chlorit-Serizitschiefer mit Relikten von Almandin und Disthen.

Dieses Gestein ist gelblichgrünlichgrau und hat auf sehr flachwelligem s schimmernde Serizitfilze. Feinschiefrig, mit bis zentimeterdicken, meist flachbauchigen Quarzschwielen. Aufschluß an der Straße, 300 m vom Alpengasthof gegen Krieglach.

U. d. M. (Schnitt nach ac):

Quarz: a) In den glimmerreichen Gewebeteilen, sowohl Umbiegungen als auch Schenkel der Scherfalten, örtlich Durchwirkung mit Pflasterquarz. Korn-∅ bis 0,08 mm, vereinzelt bis 0,16 mm.

b) In den Quarzschwielen vorwiegend pflasterige Körner, häufig mit verheilter BÖHMscher Streifung, stellenweise auch Zahnquarz (vereinzelte Körner oder Korngruppen). Quarzkorn: ∅ häufig 0,03—0,08 mm, oder 0,16—0,32 mm, vereinzelt gelängte Körner bis 0,6—0,8 mm.

Albit: Rundlinge, nicht zerbrochen, unzonar, z. T. einfache Karlsbader-Zwillinge, z. T. unverzwillingte Schnitte, mit reichlicher Serizitfülle und Granatsplittern, kein Klinozoisit. Gelegentlich einschlußfreie Randpartien. ∅ bis 1,3 mm.

Disthen: Z.-T., durch Spaltflächen begrenzt, Körnchenhaufen oder Stengelgruppen. Stengel um $0{,}16 \times 0{,}03-0{,}08$ mm.

Serizit: a) Als Einschluß in Albit. ∅ z. B. $0{,}005 \times 0{,}05$ mm.

b) Im Grundgewebe: Die Einzelblätter (z. B. $0{,}05-0{,}01$ mm $\times$ $0{,}003$ bis $0{,}007$ mm) in Schenkeln und Falten sind zu Paketen (meist $0{,}08-0{,}09$ mm $\times$ $0{,}7$ Millimeter) gruppiert. In den Faltensätteln sind die Größen der Serizitschüppchen besser erfaßbar, weil dort die Serizitpakete mit Chlorit durchwachsen sind. Die Serizitschüppchen (z. B. $0{,}016-0{,}033$ mm $\times$ $0{,}1$ mm) sind in ihrer Gestalt merklich gedrungener als die langen Serizitschuppen in den Schenkeln.

Diabantit: $X =$ hellgelbgrün, $YZ =$ kräftig grasgrün. Polarisationsfarbe nicht anomal, blaugrau, Doppelbrechung $= -0{,}004$. Zwickelfüllend im Serizitgewebe, ∅ $= 0{,}24 \times 0{,}04$ mm und kleiner.

Prochlorit: Nur in den nicht häufigen Pseudomorphosen nach Granat. $Z =$ hellgraugrün, $XY =$ schmutziggraugrün. Polarisationsfarbe nicht anomal, rötlichgrau, Doppelbrechung $= +0{,}004$. ∅ $= 0{,}16$ mm $\times$ $0{,}03$ mm und kleiner. Einschlüsse: Titanit.

Almandin bis 3 mm, zertrümmert, nur mehr Reste in knopfigen, in S_T gestreckten Prochloritpseudomorphosen nach Granat, jetzt mit Fe-Ausscheidung in Form von Goethit. Mit Quarzeinschlüssen.

Ilmenittäfelchen, ∅ um $0{,}1 \times 0{,}016$ mm. Häufig von Titanit umgeben. Es gibt aber auch kompakte Titanitkörner ohne Ilmenitreste. Orthit ganz selten, Apatit vereinzelt, Limonit.

Das Gewebe hat Transversalschieferung ($= S_T$). Zwischen den S_T liegen abgerissene Schenkel, Faltensättel und Faltenmulden, welche durch engscharige S_T im Faltenscharnier abermals durchrissen werden.

Das metamorphe Muttergestein war ein Zweiglimmerschiefer mit Granat- und Disthenführung. Nach der Durchbewegung erfolgte Rekristallisation, verbunden mit Diaphthorese, letztere besonders bemerkbar am Granat (prochloritische Pseudomorphosen) und am aus dem Diabantit rückerschließbaren Biotit, von welchem aber keine Reste mehr erhalten sind. Die Albitholoblasten sind posttektonisch gewachsen, wahrscheinlich bei Na-Zufuhr. Granat war schon primär spärlich, ebenso der Disthen, aber zweifellos waren ihre Körner bedeutend größer, als heute die Reste.

Die Quarzschwielen sind lateralsekretorisch anläßlich der Phyllonitisierung entstanden. Es handelt sich nicht um Gangfüllungen, denn die Wände, welche das Grundgewebe gegenüber den Quarzschwielen abschließen, sind die Konturen von Faltensättel und Faltenmulden bzw. von Schenkeltrümmern. Im Gesteinsgrundgewebe ist stärkste Durchbewegung abgebildet, während Anzeichen davon im Quarzschwielengewebe fehlen.

Das Gestein ist jetzt ein „Quarzphyllit". Es hat sich erst durch die Physiographie als tektonisierter und diaphthoritisierter Zweiglimmerschiefer erkennen lassen, also ein Phyllonit.

Optische Analyse (Vol. %)

	Zweiglimmer-schiefer	Albit-Chlorit-Glimmer-schiefer	Albitführ. Chlorit-Serizit-schiefer
Quarz	28,0	32,9	22,0
Albit	—	18,5	7,0
Muskowit, Serizit	53,0	31,1	50,7
Biotit	15,3	0,1	—
Chlorit	—	14,0	15,0
Disthen	0,3	0,4	1,2
Turmalin	—	0,2	—
Granat	—	1,0	1,8
Apatit	0,1	0,2	+
Ilmenit	0,7	0,7	1,7
Titanit	—	0,3	0,1
Goethit, Limonit	2,5	0,6	0,5
Xenotim	+	—	—
Siderit	0,1	—	—
	100,0	100,0	100,0

III. Chemische Analysen und petrochemische Auswertung

Die chemischen Analysen wurden in der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt ARSENAL in Wien ausgeführt, wofür ich dem Vorstand, Herrn Univ.-Prof. Dr. E. Schroll und Frau Dr. I. Janda, zu Dank verpflichtet bin.

Die Auswertung der chemischen Analysen verfolgte das Ziel, über Qualität und Quantität des Mineralbestandes Aufschluß zu erhalten. Damit ist eine wertvolle Kontrolle und Ergänzung zur Physiographie gegeben. Bei allen drei Gesteinen wurde im wesentlichen nach den Vorschriften von Burri 1959 vorgegangen. Dies stellt den kürzesten Weg dar, um auch in komplizierten Fällen zum Ziel zu gelangen. Nur im ersten Beispiel war es durch einen

relativ einfachen Mineralbestand möglich, auch eine direkte Analysenberechnung durchzuführen, ohne von der Äquivalentnormenberechnung auszugehen. Doch diente letztere auch hier zur Kontrolle. Ohne Kenntnis der Physiographie und ohne Ausmessungsdaten aus Dünnschliffen ist eine „Modenächste" (ANGEL 1965b) Entwicklung auf Normenbasis nicht durchführbar. Einzelheiten der Rechnungsgänge sind aus den jeweiligen Beispielen zu ersehen.

Analysenmethode

Gravimetrisch: SiO_2, R_2O_3 als Oxyde, CaO aus Oxalat und emissionsspektrographisch nach der Additionsmethode, MgO als $Mg_2P_2O_7$, weiters CO_2, P_2O_5 nach WOY. — Titrimetrisch: FeO mit $KMnO_4$ und Fe_2O_3 nach ZIMMERMANN-REINHARDT. — Kolorimetrisch: MnO, TiO_2. – Flammenphotometrisch: K_2O und Na_2O. – H_2O— durch Trocknen bei 110° C, H_2O+ nach PONFIELD-BRUSH. — Spurenelemente emissionsspektrographisch nach eigener Methode.

Spurenelemente (Gew. %)

Gestein	1	2	3
Cr	0,02	0,03	0,03
Ni	0,003	0,005	0,005
V	0,008	0,02	0,02
B	$<$ 0,003	0,02	$<$ 0,003
Ba	0,08	0,08	0,08
Sr	$<$ 0,003	0,005	0,01
Zr	0,01	0,02	0,02
Cu	0,003	0,003	0,005
Co	0,002	0,001	0,002
Be	$<$ 0,0001	0,0003	0,0003

Diese Spurenelemente führen zu sehr geringen Oxydmengen (nur Hunderstel-% und weniger). Bei einer Berechnung des Mineralbestandes können sie sich daher nicht bemerkbar machen.

Vergleichswerte derselben Spurenelemente von Gesteinen aus „Quarzphyllit"-Arealen scheinen in der Literatur nicht auf. WENINGER 1965 bringt Angaben über Ge, Sn, Pb, Zn, Tl aus Quarzphylliten.

1. Phyllitischer Zweiglimmerschiefer

Gewichtsprozentischer Mineralbestand unter Kontrolle durch Dünnschliffbeobachtung

Oxyde	in Gew. %	Atom-Prop.	Ap	Sid	Ilm	Goe*)	Bi	Ms	Dist	Q
SiO_2	55,20	919					99	354	16	450
TiO_2	1,35	17			17					
Al_2O_3	20,55	403					33	354	16	
Fe_2O_3	5,91	74			17	57				
FeO	3,82	53 }		2			51 }			
MnO	0,05	1 }					1 } 99			
MgO	1,92	47					47 }			
CaO	0,14	3	3							
Na_2O	0,32	10 }					2 } 33	8 } 118		
K_2O	6,65	141 }					31 }	110 }		
P_2O_5	0,17	2								
CO_2	0,10	2								
H_2O+	3,50	388				{ 57	66	236		
H_2O-	0,03					{ 29				
	99,71	Gew.% =	0,31	0,24	2,72	5,33	15,40	46,85	1,78	27,0

Summe: 99,63

*) Goe = Goethit.

Die Aufteilung der Oxyde erfolgte unter Kontrolle durch den Dünnschliffkornsortenbestand. Analytisch gegeben ist Ap durch P_2O_5, Sid durch CO_2 und durch die Beobachtung, daß Sid in sehr geringen Mengen vorkommt. Für Ilm ist von TiO_2 auszugehen, für Goe, den der Dünnschliff ziemlich reichlich enthält, ist der Ausgangspunkt der Fe_2O_3-Rest nach der Ilm-Bildung. Tatsächlich ist der Großteil nicht Goe, sondern wasserreicherer Limonit, welche Tatsache in der H_2O+ Zuteilung Berücksichtigung fand. Dann wurde Bi gebildet, der alles Restliche (Fe^{++}, Mn^{++}, Mg) aufnimmt, wodurch die aufzuwendenden Mengen von Al und Alk bestimmt sind, ebenso aber auch Si und H_2O+. Für den verbleibenden Rest ist die Ms-Menge durch den Alk-Rest gegeben, folglich auch Al, Si und H_2O+. Es verbleibt ein Rest von 16 Al, der mit 16 Si zu Dist verbunden wird. Rest-Si ist Q. Aus diesem Verteilungsplan der Atomproportionen werden die Gew.-% zurückgerechnet. Die Summen differieren wegen des abgekürzten Rechnens mit den Atomproportionen, aber kaum beachtenswert (um 0,08).

Mineralbestand mit Hilfe der Äquivalentnormen nach NIGGLI-BURRI

	Atom-Prop.	Cp	Sid	Kp	Ne	Cal	Sp	Hz	C	Fs	Ru	Q
SiO_2	919			141	10					37		731
TiO_2	17										17	
Al_2O_3	403			141	10		94	104	54			
Fe_2O_3	74									74		
FeO	53 }							52				
MnO	1 }											
MgO	47						47					
CaO	3	3										
Na_2O	10				10							
K_2O	141			141								
P_2O_5	2	2										
CO_2	(2)		(2)									
H_2O+	(388)											
	1670	5	2	423	30	—	141	156	54	111	17	731

Basis 100: 0,3 0,1 (0,4 zu M) 25,3 1,8 (L = 27,1) — 8,4 9,3 3,2 6,7 1,0 (M = 28,6) 43,9 (Q = 43,9)

Standard-Katanorm:	Cp	Sid	Or	Ab	Cord	FeCord	Sil	Hm	Ru	Q
	0,3	0,1	42,2	3,0	15,4	17,1	4,8	4,5	1,0	11,6

Umgruppiert:	Cp	Sid	Ilm	Hm	Or	Ab	Cord	FeCord	Sil	Q
	0,3	0,1	2,0	3,5	42,2	3,0	15,4	17,1	4,8	11,6

Überführung in eine Mesonorm ohne Feldspat, aber mit Bi, Ms und Dist:

Mesonorm-Variante:	Cp	Sid	Ilm	Hm	Ms + Pg	Bi	Dist	Q
	0,3	0,1	2,0	3,5	45,2 + 4,2 (49,4)	15,8	1,3	27,6

Zur Mesonorm-Entwicklung, welche nur Alkaliglimmer, Bi, Dist und Q neben den Nebenkornsorten enthalten soll, wird aus der Basis zunächst die Standard-Katanorm abgeleitet und diese dann derart umgruppiert, daß alle Nebenkornsorten an der Spitze (links) stehen und die Hauptkornsorten in der Reihenfolge Or, Ab, Cord, FeCord, Sil und Q folgen. Außerdem wurde an Stelle von Ru eine Variante mit Ilm gebildet. Anstatt von Sil ist Dist zu setzen.

Diese Standard-Katanorm wird unter Eliminierung der nicht vorhandenen Feldspate auf die Mesonorm mit Ms + Pg, Bi, Dist und Q umgestellt.

Die Mesonorm sagt aus, daß sich am Ms 8,5 Formel-% Pg beteiligen. Das FeMn/FeMnMg-Verhältnis im Bi ist 52,5%. Der Bi muß daher ziemlich Fe-reich sein, was auch aus seiner Farbe hervorgeht. Von seiner Na-Führung ist in dieser Normgestaltung abgesehen worden. Damit stimmen die aus der Norm enthaltenen Verhältniszahlen mit den aus der Analyse ermittelten befriedigend überein.

Zusammenstellung:

Mesonorm-Variante	Cp	Sid	Ilm	Hm	Ms + Pg	Bi	Dist	Q
(Norm-%):	0,3	0,1	2,0	3,5	49,4	15,8	1,3	27,6
Analyse (Gew.-%):	Ap			Goe				
(direkt)	0,31	0,24	2,72	5,33	46,85	15,40	1,78	27,0
Analyse (Vol.-%):	0,28	0,17	1,73	3,84	48,25	14,85	1,44	29,44
Dünnschliff-Ausmessung								
(Vol.-%):	0,1	0,1	0,7	2,5	53,0	15,3	0,3	28,0

Die Differenzen gegenüber der Schliffausmessung haben verschiedene Ursachen: Zwei Dünnschliffe lieferten infolge der Lagung des Gesteins etwas abweichende Resultate. Der gemittelte Bi-Wert liegt sehr nahe am bezüglichen Wert der Mesonorm. Ebenso ist es mit Q, der in dem einen Schliff reichlicher ist als im zweiten. Allerdings bereitet es Schwierigkeiten, den im Ms-Gewebe vorhandenen Q optisch auszählend zu isolieren. Auffallende Unterschiede ergeben sich bei Ilm und Hm, welche demnach im Gestein ungleich verteilt sind. In diesen Fällen zeigt die Mesonorm richtiger als die Dünnschliffausmessung die Zusammensetzung des Analysengutes. Auch der Dist ist nicht nur spärlich, sondern auch so ungleichmäßig verteilt, daß der in den Schliffen beobachtete Wert weit unter dem der Mesonorm liegt. Die lagenhaften Anreicherungen und Verarmungen sind die Ursachen für die Differenzen bei den Alkaliglimmerwerten.

2. Phyllonitisch-diaphthoritischer „Quarzphyllit“

Albit-Chlorit-Glimmerschiefer mit Relikten von Almandin, Biotit und Disthen.

Chemische Analyse. Mineralbestand auf Grund der Äquivalentnormenberechnung nach NIGGLI-BURRI

	Gew.-%	Atom-Prop.	Cp	Cc	Kp	Ne	Cal	Sp	Hz	Fs	Fa	Ru	Q
SiO_2	62,80	1046			85	55				8	12		886
TiO_2	0,96	12										12	
Al_2O_3	17,87	350			85	55	8	128	74				
Fe_2O_3	1,22	15								15			
FeO	4,32	60 }							37		24		
MnO	0,05	1 }											
MgO	2,58	64						64					
CaO	0,70	12	5	3			4						
Na_2O	1,70	55				55							
K_2O	4,00	85			85								
CO_2	0,15	(3)		(3)									
P_2O_5	0,20	3	3										
H_2O+	2,90	(322)											
H_2O-	0,03												
Summe:	99,48	1703	8	3	255	165	12	192	111	23	36	12	886

Basis 100:

Kp	Ne	Cal	Sp	Hz	Fs	Fa	Ru	Cp	Cc	Q
14,98	9,69	0,70	11,28	6,52	1,35	2,11	0,70	0,47	0,18	52,02

L = 25,37 M = 22,61 Q = 52,02

Standard-Epinorm:

Cp	Cc	Ru	Hm	Ms	Ab	Zo	At	Ant	FeAnt	Q
0,47	0,18	0,70	0,90	34,96	16,15	0,93	4,98	2,93	5,97	31,83

(At + Ant + FeAnt) 13,88

Modenähere Epinorm-Variante:

Cp	Cc	Tit	Ilm	Hm	Ms	Ab	At	Ant	FeAnt	Q
0,47	0,18	0,69	0,94	0,43	34,96	16,15	5,90	2,34	5,97	31,97

(At + Ant + FeAnt) 14,21

Modenächste Epinorm-Variante:

Ap	Cc	Tit	Ilm	Hm	Ms	Ab + Or	Dist	Alm	At	Ant	FeAnt	Q
0,47	0,18	0,69	0,94	0,43	31,07	18,93	0,00	0,72	8,25	0,77	5,52	32,03

(At + Ant + FeAnt) 14,54

Schliffausmessung:

Ap	Turmalin	Tit	Ilm	Goe	Ms	Ab	Dist	Alm	Chlorit	Bi	Q
0,2	0,2	0,3	0,7	0,6	31,1	18,5	0,4	1,0	14,0	0,1	32,9

Wie beim vorigen Gestein wird zunächst die Basis entwickelt und aus ihr nach der Vorschrift BURRI 1959, S. 219ff., die Standard-Epinorm. Diese kommt dem physiographisch beobachteten Mineralbestand schon sehr nahe und unterscheidet sich von ihm nur in Kleinigkeiten. So enthält sie z. B. Zo, Ru und Hm, der modale Bestand hingegen Ilm, Tit und Dist. Aber der Chlorit entspricht qualitativ nicht.

Man kann nun leicht diese Standard-Epinorm in eine Modenähere Epinorm-Variante umwandeln. Diese enthält dann die oben ausgewiesene Reihe von Mineralien: Ap als Cp, ein wenig Cc, Tit, Ilm, sehr wenig Hm (welcher hier für Goe eingesetzt wird), dann Ms, reinen Ab und reichliche Mengen eines Chlorites, welcher im Diabantitfeld steht. Um auch die sehr kleinen Mengen von Dist und Alm (Dünnschliff) zu berücksichtigen, müßte man etwas Ms auf Or abbauen, letzteren aber dem Ab-Betrag zuschlagen, da selbständiger Or nicht beobachtet worden ist.

Damit gewinnt man die Modenächste Epinorm-Variante, siehe Tabelle. Darin ist für den Granat reiner Alm angesetzt, weil die bisher vorliegenden Analysen von Granatglimmerschiefer-Granaten so hohe Formel-% Anteile an Alm aufweisen (bis 85,06 Formel-%, siehe ANGEL 1965a), daß — besonders wenn man etwas Spe zuzählt — Pyp und Gro in der Bedeutung sehr zurücktreten. Daher erscheint es bei kleinen Mengen an Granat, wie in unserem Falle, nicht notwendig, Formel-% von Pyp und Gro, eventuell Andr in den Granat einzurechenen. Mit dem Ab wird ein kleiner nicht selbständiger Or-Gehalt vereinigt und die Höhe von Alm wurde gemäß der Dünnschliffausmessung eingesetzt. Der Der Chlorit bleibt noch Diabantit, rückt aber gegen die Grenze zu Prochlorit.

Vergleich der normativ entwickelten Chlorite
(Gemäß TRÖGER-Diagramm, S. 91)

	Standard-Epinorm	Modenähere Epinorm-Variante	Modenächste Epinorm-Variante
FeMn/FeMnMg	48,8	48,7	46,8
At/AtAntFeAnt	35,9	41,5	56,8
	Unbesetztes Feld links neben Diabantit	Diabantit-Feld, linker Rand	Diabantit gegen Prochlorit

3. Phyllonitisch-diaphthoritischer „Quarzphyllit“

Albit-führender Chlorit-Serizitschiefer.

Mineralbestand
auf Grund der Äquivalentnormenberechnung nach NIGGLI-BURRI

	Gew.-%	Atom-Prop.	Cp	Cc	Kp	Ne	Sp	Hz	Fs	Fa	Ru	Q
SiO_2	58,60	976			74	48			13	3		838
TiO_2	1,20	15									15	
Al_2O_3	20,33	399			74	48	136	141				
Fe_2O_3	2,11	26							26			
FeO	5,30	74⎫						70		6		
MnO	0,12	2⎭										
MgO	2,72	68					68					
CaO	0,40	7	5	2								
Na_2O	1,50	48				48						
K_2O	3,50	74			74							
P_2O_5	0,18	3	3									
CO_2	0,12	(2)		(2)								
H_2O+	3,34	(371)										
H_2O-	0,15											
Summe:		1692	8	2	222	144	204	211	39	9	15	838

Basis 100:

Kp	Ne	Sp	Hz	Fs	Fa	Ru	Cc	Cp	Q
13,12	8,51	12,06	12,47	2,30	0,53	0,89	0,12	0,47	49,53
L = 21,63		M = 28,84							Q = 49,53

Standard-Epinorm:

Cp	Cc	Hm	Ru	Ms	At	FeAt	FeAnt	Ab	Q
0,47	0,12	1,53	0,89	30,64	10,05	8,96	1,54	14,18	31,62
					20,55				

At = 92,5% Fe/FeMg = 53%

Modal gemäß Schliffausmessung (Vol.-%):

Goe	Ilm	Tit	Ms	Chlorit	Alm	Dist	Ab	Q
0,5	1,7	0,1	50,7	15,0	1,8	1,2	7,0	22,0

Die Vorgangsweise der petrochemischen Berechnung ist wieder die nach BURRI 1959, nach dem besonderen Bedarf dieser Gesteinsform ausgeführt. Über der Basis wurde zunächst eine Standard-Epinorm berechnet, welche sich dem modalen Mineralbestand bis auf Relikte qualitativ schon weitgehend nähert. Sie hat aber weitaus zuviel Ab und zuwenig Alkaliglimmer. Auch die normative Konstitution des Chlorites paßt nicht zum modalen Bestand.

Aus diesem Grunde wurde gemäß der Schliffausmessung Ab auf die Hälfte verringert, entsprechend einem beobachteten Ab-Volumen von 7%, dafür Ms mit Pg vermehrt, welch letzterer aus Ab unter Zufuhr von C entwickelt wurde (Paragonitvariante, siehe ANGEL 1965b). Dieser Wert von C ergibt sich automatisch, wenn man von 7% Ab ausgeht. Den Wert von C kann man nur aus At der Standard-Epinorm gewinnen. Dadurch ergibt sich ein neuer, den Beobachtungen entsprechender Chlorit, der Alkaliglimmerwert steigt, hingegen bleibt der Q-Wert fast unverändert. Die Annäherung an den Modalbestand ist nun im ganzen größer.

Neue Variante der Epinorm:

Cp	Cc	Hm	Ru	Ms + Pg	At	FeAt	Ant	FeAnt	Ab	Q
0,47	0,12	1,53	0,89	30,64 + 9,93	2,95	8,96	4,73	1,54	7,09	31,15
				40,57	18,18					

At = 65,5% Fe/Mg = 52,8%
Prochlorit

Der Weg zur Konstruktion einer modenahen Mesonorm wird über die Katanorm geführt. Die Standard-Katanorm verlangt eine Granat-Sillimanit-Variante, um zu ersehen, welche Rolle Granat und Disthen im Gestein gespielt haben können. Cp und Cc bleiben unverändert, aber anstelle von Hm und Ru muß Ilm treten. Der Ab-Gehalt wird ungefähr in der Höhe wie bei der Standard-Epinorm einzusetzen sein. Der Q-Wert ist gegenüber der Standard-Epinorm stark vermindert.

Standard-Katanorm:

Cp	Cc	Mt	Hm	Ru	Or	Ab	Mg-Cord	Fe-Cord	Q
0,47	0,12	1,06	0,83	0,89	21,86	14,18	22,11	22,87	15,61

Granat-Sillimanit-Variante der Katanorm:

Cp	Cc	Mt	Ilm	Or	Ab	Pyp	Alm	Sil	Q
0,47	0,12	1,06	1,72	21,86	14,18	10,72	11,08	16,36	22,43
						21,80			

Mesonorm, vor der Diaphthorese, mit Bi, Almandin-Mischgranat und Dist, neben Q, Alkaliglimmer und Ab:

Cp	Cc	Mt	Ilm	Ms + Pg	Ab	Pyp-Alm	Sil	Bi	Q
0,47	0,12	1,06	1,72	20,10 + 10,50	6,68	9,80	7,75	12,0	29,80
				30,60					

Um aus der Katanorm-Variante zur Mesonorm zu kommen, von der man annehmen kann, daß sie den vordiaphthoritischen Zustand des Gesteines in der Mesozone darstellt, muß man das Paar Mt und Ilm erhalten, den Alkaliglimmer auf eine der modalen Glimmermenge schon nahe kommende Ziffer bringen, was dadurch möglich wird, daß man bereits die Zifferngrößen der neuen Variante der Epinorm mitbenützt. Dabei sinkt die Ab-Menge ungefähr auf die Hälfte und die Alkaliglimmermenge (vordem nur Ms aus Or) steigt um eine starke Pg-Komponente an. Anstelle des epizonalen Prochlorites muß jetzt Bi, Granat und Dist treten. Das Material hiezu muß aus dem Chemismus des Prochlorites bezogen werden. Den Anhaltspunkt für die vormalige Höhe des Bi gibt jener Chloritgehalt im heutigen Gesteinsbestand, der nicht in den Pseudomorphosen nach Granat steckt. Die letzt erwähnten Pseudomorphosen gestatten den Rückschluß auf die vordiaphthoritische Menge des Granates, so wie die Glimmerpseudomorphosen nach Dist auf den ehemaligen Dist-Gehalt schließen lassen, wie oben ersichtlich.

Nachdiaphthoritische Normgestaltung (Modenächste Epinorm mit Relikten)

Um den heutigen Gesteinszustand möglichst angenähert wiederzugeben, wird die Diaphthorese des mesozonalen Gesteinsbestandes rechnerisch durchgeführt. Der rechnerische Reaktionsgang dabei ist folgender:

Bi $\rightarrow$ Chlorit + Alkali + Q
Alkali + Sil + Q $\rightarrow$ Ms + Sil-Rest
Granat $\rightarrow$ Chlorit + Q + Granatrest

Es ist daher notwendig, die Relikte von Dist (Sil) und Granat möglichst genau anzusetzen. Schwierigkeit hiebei ist die ungleichmäßige Verteilung der Granat- und Dist-Reste in größeren Gesteinspartien, so daß der Schliffbereich mit dem Ergebnis der chemischen Analyse nicht sehr genaue Übereinstimmung liefern muß. Doch ist der Erfolg dieser Umrechnung im Vergleich zum modalen Mineralbestand recht befriedigend. Die Hauptdifferenz liegt nur in der Verteilung von Q und Alkaliglimmer, deren Summe aber gleich hoch ist, wenn man sie einerseits aus Dünnschliffausmessung und andererseits aus der chemischen Analyse bestimmt. Die Analyse hat also ein glimmerreicheres und quarzärmeres Material verarbeitet als der Dünnschliff es zeigt. Der berechnete Chlorit liegt noch im Diabantitfeld des TRÖGERschen Diagrammes, aber schon nahe der Grenze zu Prochloriten. Das paßt zum optischen Befund.

Modenächste Epinorm (mit Relikten):

Cp	Cc	Mt	Ilm	Ms +	Pg	Ab	At +	Ant	Alm	Sil	Q
0,47	0,12	1,06	1,72	30,60	10,50	6,68	8,75	6,70	1,80	1,00	30,60
				41,10			15,45				

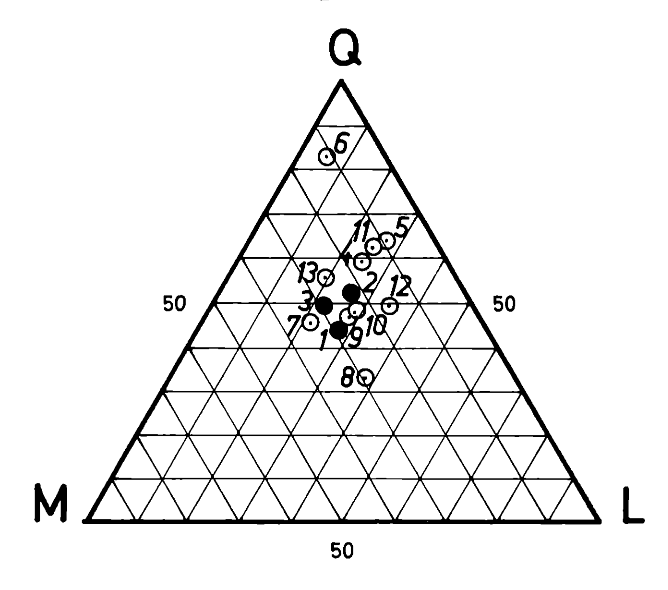
At = 56,7% Fe/FeMg = 46,3% Diabantit, gegen Grenze zu Prochlorit

Graphische Darstellung des Gesteinschemismus

auf Grund der Basisverbindungen (NIGGLI) im Dreieck QLM

	Q	L	M
1. Phyllitischer Zweiglimmerschiefer	43,9	27,1	29,0
2. Albit-Chlorit-Glimmerschiefer	52,0	25,4	22,6
3. Albit-führender Chlorit-Serizitschiefer	49,5	21,6	28,9

Trotz aller Verschiedenheiten im einzelnen liegen die drei bearbeiteten „Quarzphyllite“ im Dreieck QLM nahe beisammen und bekunden auch damit ihre petrochemische Verwandtschaft.



Nachdem die Untersuchung ergeben hat, daß diese drei Gesteine „Quarzphyllite“ im klassischen Sinne sind, welche sich durch Diaphthorese von Granatglimmerschiefern mit gewissen Quarzzuschüssen herleiten lassen, sollen sie nun mit derartigen

Gesteinen, d. h. Granatglimmerschiefern und quarzreichen phyllitischen Gesteinen aus anderen Gebieten petrochemisch verglichen werden.

	Q	L	M
4. D'AMICO: Quarzphyllit, Cima d'Asta	59,4	23,8	16,8
5. ILAVSKY: Quarzreicher Phyllit, Smolnik	62,9	27,4	9,7
6. ILAVSKY: Glimmerquarzit, Smolnik	83,3	5,3	11,4
7. ANGEL: Chloritoidschiefer, Leuker-Kapitel .	47,0	20,6	32,4
8. ANGEL: Almandinführ. phyllit. Schiefer	33,2	37,7	29,1
9. ANGEL: Hellglimmerschiefer, Hauenstein .	47,1	28,0	24,9
10. ANGEL: Hellglimmerschiefer, Bussardkogel.	47,2	28,1	24,7
11. ANGEL: Chloritführender Glimmerschiefer	61,5	26,1	12,4
12. ANGEL: Granatglimmerquarzit, östl. Neuhof	49,5	34,3	16,2
13. FIALA: „Phyllitglimmerschiefer", W-Böhmen	55,7	19,9	24,4

Eine nahe Verwandtschaft zu unseren drei Gesteinen aus dem Quarzphyllitbereich der Waldheimat läßt sich tatsächlich für Nr. 7, 9, 10, 12 und 13 erkennen. Nr. 4, 5 und 11 liegen mit kleinem M etwas ab; aber das ist nicht einschneidend, sondern Übergang. Nr. 8 zeigt, wie sich ein phyllitisches Gestein, das nicht zu den „Quarzphylliten" gehörig ist, auf den ersten Blick schon abhebt. Bezeichnend ist das sprunghaft niedrigere Q. Gestein Nr. 6 ist ein Glimmerquarzit, der sich auch deutlich von der Hauptgruppe abhebt, diesfalls durch seinen sprunghaft höheren Gehalt an Q.

Phyllitisch-quarzitische Schiefer von Smolnik (Slovakei)

Gestein	5	6
SiO_2	85,29	76,02
TiO_2	0,34	0,29
Al_2O_3	5,94	14,09
Fe_2O_3	3,19	0,89
FeO	—	1,00
MnO	0,03	0,02
MgO	1,12	0,55
CaO	1,00	0,27
Na_2O	0,41	2,91
K_2O	0,52	3,12
Cu	—	Sp
P_2O_5	Sp	Sp
S	—	Sp
H_2O+	1,45	1,00
H_2O-	0,02	0,13
	99,31	100,29

Nr. 5 = Quarzreicher Phyllit, grau gefärbt, schwach graphitisch, aus Tiefbohrung G. 29, Tiefe 16,3—16,5.

Nr. 6 = Glimmerquarzit, grau gefärbt, aus Punkt 23—500, Hauptzwischenscheidekamm.

Analytiker: LEŠTÁK, ĎURIŠ, DVONČ.

Dieses noch nicht veröffentlichte Material stellte mir in liebenswürdiger Weise der Direktor-Stellvertreter am Geol. Institut Dionýža Štúra in Bratislava, Herr Dr. JÁN ILAVSKÝ zur Verfügung, wofür ich herzlich Dank sage.

Diese chemischen Daten dienten als Unterlage zur Berechnung von QLM. Siehe Gesteine Nr. 5 und 6 im Dreieck QLM.

IV. Zusammenfassung

Von einer Reihe von „Quarzphyllit"-Mustern aus dem Waldheimat-Gebiet der Steiermark wurden drei Beispiele, deren Physiographie vorerst festgestellt wurde, chemisch analysiert und nach NIGGLI-BURRI petrochemisch berechnet. Es hat sich gezeigt, daß die Analysen bei der Durchrechnung Normativbestände ergeben, welche qualitativ und quantitativ den Dünnschliffbefunden sehr gut entsprechen. Bemerkenswert ist auch hier wieder, daß man in zwei Fällen mit Paragonit rechnen muß. Ob sich dieser Pg in einem Mischalkaliglimmer verbirgt oder ob er selbständig neben dem Muskowit auftritt — beide Fälle sind möglich — konnte der Verf. nicht entscheiden. Im zweiten Gestein weist die normative Berechnung auf einen praktisch reinen Muskowit, wohingegen dem Albit etwas Orthoklas einverleibt ist. In den Fällen 1 und 3 zeigt die Normenentwicklung, daß die Quelle für den Pg in einem normativen Albitgehalt der Standard-Katanorm steckt. Bei sehr hohen modalen Albitgehalten bleibt die Nötigung zur Pg-Bildung aus. Durch die Ableitung modenächster Normvarianten ließ sich auch der Chloritchemismus recht annähernd so errechnen, wie es der Dünnschliffbefund verlangt.

In einer vorigen Studie, HANSELMAYER 1965, wurde bereits festgestellt, daß es sich um Proben aus einer Gesteinsmasse handelt, die von Diaphthorese beherrscht wird. Das hat sich übereinstimmend damit auch bei der petrochemischen Bearbeitung gezeigt.

Besonderer Dank gebührt dem Ministerium für Handel und Wiederaufbau in Wien, das die Durchführung der chemischen Analysen finanzierte.

Literatur

ANGEL, F., 1924: Gesteine der Steiermark. — Mitt. naturwiss. Ver. Steierm. 60. B. Wiss. Abh. Graz, 1—302.

— 1965a: Retrograde Metamorphose und Diaphthorese. — N. Jb. Miner. Abh. 102: 123—176.

— 1965b: Petrographisch-petrochemische Berichte über einige Gesteinstypen aus der Umgebung von Graz. — Joanneum, Graz, Min. Mitteilungsblatt, 1: 1—11.

BURRI, C., 1959: Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. — Birkhäuser-Basel, 1—334.

CORNELIUS, H. P., 1952: Die Geologie des Mürztalgebietes. — Jb. Geol. B. A. Wien, Sbd. 4: 1—94. Zugleich Erläuterungen zu Blatt Mürzzuschlag der geol. Karte v. Österreich (1:75.000).

D'AMICO, CL., 1956: Granitisierte Phyllite im Ostabschnitt des Cima d'Asta. Kristallins. — Rend. Rend. Soc. Min. Ital. XII: 1—7.

FIALA, F., 1964: Die Gesteine der Grenzserie (Arzberger S.) und der Granit von Kynžvart in der weiteren Umgebung von Dolní Žandov (W-Böhmen). — Sbor. Geol. věd G. 5: 95—126. Prag.

HANSELMAYER, J., 1965: Erster Einblick in die Petrographie von Gesteinen aus dem „Quarzphyllit"-Gebiet der Waldheimat (Steiermark). — Im Druck. S. B. Akad. Wiss. Wien.

ILAVSKÝ, J., 1965: Briefliche Mitteilungen.

METZ, K., 1959: Geologische Karte der Steiermark. 1:300.000.

— 1959: Erläuterungen zur Geologischen Karte. — Mitt. naturwiss. Ver. Steierm. 89: 87—103.

NIGGLI, P., 1936: Über Molekularnormen zur Gesteinsberechnung. — SMPM, XVI, 295—317.

SCHWINNER, R., 1936: Zur Gliederung der phyllitischen Serien der Ostalpen. — Verh. Geol. B. A. Wien, 5: 117—124.

TRÖGER, W. E., 1935: Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. — Berlin, 1—360.

— 1938: Eruptivgesteinsnamen (1. Nachtrag). — Fortschr. Min. etc. 23: 1—90.

— 1952: Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. — Stuttgart, 1—147.

WENINGER, M. 1965: Über Gehalte an Germanium, Zinn und einigen anderen Spurenelementen in ostalpinen Graphit- und Talkgesteinen. TMPM 10:475—490.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Josef Hanselmayer, 8010 Graz, Rechbauerstraße 54.

Über das Gold des Alpenrheins

Von Franz Kirchheimer

Mit den Tafeln 1 und 2 sowie einer Textabbildung

(Vorgelegt in der Sitzung am 13. Jänner 1966)

Mit dem Gold der Alluvionen am Oberrhein habe ich mich eingehend beschäftigt (1965, S. 55—85). Die Untersuchungen erstreckten sich insbesondere auf die Beschaffenheit und Herkunft des überwiegend in Gestalt winziger Flitterchen vorhandenen Edelmetalls. Ihr durchschnittliches Gewicht beträgt lediglich 0,006 mg und die mittlere Dicke ist nur 0,017 mm. Als „grobes Gold" erscheinen bis zu mehreren mg schwere Teilchen, unter denen vereinzelte Körner mit Kristallflächen auftreten. Sein Vorkommen ist den Goldwäschern durch Jahrhunderte unbekannt geblieben. Das gegenüber den Flitterchen bis zu 1000fach schwerere „grobe Gold" fand sich in Konzentraten aus vielen 1000 t der Niederterrassen-Schotter; der Anteil am gesamten Goldausbringen beträgt nur 0,02%.

Ferner bin ich den Hinweisen auf goldführende Quarzgerölle nachgegangen. Vorhanden sind lediglich zwei rheinische Goldkiesel, und zwar in alten Sammlungen. Ihre Beschaffenheit läßt die Herkunft aus Quarzgängen der Alpen vermuten. Die das oberrheinische Gold in den Wasch-Konzentraten begleitenden Mineralien hat Ramdohr (1965, S. 87—95) untersucht.

Nach meinen frühere Darlegungen bestätigenden Befunden stammt das seit der Keltenzeit am Hoch- und Oberrhein erwaschene Gold aus der jungeiszeitlichen Niederterrasse, dem „Hochgestade". Die überwiegend alpinen Kiese und Sande mit ungefähr 4 mg Au/m³ sind insbesondere vor der 1872 abgeschlossenen Korrektion des Stromes von ihm aufgearbeitet worden. Bei abziehendem Hochwasser entstanden die waschwürdigen „Goldgründe" als

„lebende Seifen“ mit einer über 100fachen Anreicherung der winzigen Flitterchen des Edelmetalls. Ein ständiger Anfall von Gold aus den im Rhein bewegten und verpochten Geröllen ist für ihre Bildung gegenüber dem „Vorwaschen“ durch den Strom zu allen Zeiten bedeutungslos gewesen. Das „grobe Gold“ der Niederterrassen wurde zwar während der letzten Eiszeit durch einen solchen Vorgang in der Nähe der gegenwärtigen Fundorte freigelegt, gelangte aber nicht zu den der Stromaue angehörenden „Goldgründen“

Standorte der Goldwäscherei befanden sich am Hochrhein von Waldshut abwärts und am Oberrhein bis in das Gebiet südlich Mainz, besonders zwischen Lahr und Philippsburg (km 265—395). Eine Abnahme der Flittergröße nach Norden ist nachgewiesen. Unterhalb von Mainz waren die winzigen Goldteilchen nicht mehr durch das Auswaschen zu erfassen. Alte Nachrichten über das Vorhandensein rheinischer Wäschereien bei Bacharach und Bonn fanden keine Bestätigung[1]. Goldfunde am Mittelrhein können nicht in Zusammenhang mit den oberrheinischen Niederterrassen stehen, sondern müssen eine andere Herkunft besitzen.

Allgemein wird angenommen, daß das Gold aus dem Napfgebiet des schweizerischen Mittellandes in die rheinischen Alluvionen gelangte, und zwar über die Zuflüsse und den Unterlauf der Aare. Bis in das 19. Jahrhundert befanden sich zahlreiche Goldwäschereien an diesen Gewässern. Molasse-Sedimente des Miozäns sollen das aus goldführenden Quarzgängen der Alpen stammende Edelmetall geliefert haben. Sein Vorkommen in diesen alten Seifen ist noch nicht näher untersucht worden. Nur gering kann die Goldzufuhr an die oberrheinischen Niederterrassen aus dem Schwarzwald und den Vogesen gewesen sein. Die auch im neueren Schrifttum zu findenden Nachrichten über mittelalterliche Goldwäschereien im Bereich mehrerer Schwarzwaldgewässer sind unzutreffend und beruhen auf der falschen Interpretation einer Urkunde aus dem Jahr 1234. Nach meiner Ansicht stammt der Goldgehalt der hoch- und oberrheinischen Niederterrassen zu einem großen Teil aus aufgearbeiteten älteren Moränen und Schottern. Die Alluvionen des Napfgebietes und an der Aare führen sowohl feine Flitterchen als auch „grobes Gold“ (vgl. S. 9—13).

[1] An vielen Örtlichkeiten hat man nur Streusand für den Bedarf der Kanzleien erwaschen. Da seine Gewinnung mit den für das Ausbringen des Goldes gebräuchlichen Geräten erfolgte, ist eine unzutreffende Deutung der Vorhaben möglich gewesen.

Nach LEONHART THURNEISSER ZUM THURN (1530—1596) soll die Goldwäscherei etwa 20 km oberhalb von Waldshut einen Standort gehabt haben, und zwar in Eglisau (1572, S. 207; „Eglisaw“). Ferner erwähnt dieser Autor am Alpenrhein bei Chur und Maienfeld befindliche Wäschereien[2]. Ob in Eglisau jemals Gold gewonnen wurde, läßt sich weder verneinen noch bejahen. Ein geringer Goldgehalt der dortigen Niederterrasse ist nach der geologischen Situation nicht unmöglich, so daß „Goldgründe“ entstehen konnten. Spätere Schriften wiederholen allerdings nur die Angaben aus den Jahren 1572 und 1612 (z. B. TREITLINGER 1776, S. 33). Auch stromab Waldshut und bis Basel sind waschwürdige „Goldgründe“ nur an wenigen Stellen vorhanden gewesen (z. B. Albbruck, Säckingen, Augst).

Besondere Beachtung verdient die alte Nachricht über einstige Goldwäschereien bei Chur und Maienfeld in Graubünden. Auch sie ist vielfach wiedergegeben worden, so im 18. Jahrhundert (TREITLINGER 1776, S. 33; MEUSEL 1778, S. 246) und zu unserer Zeit (NEUMANN 1903, S. 413; BRÄUHÄUSER 1920, S. 257; VOLLRATH 1928, S. 238; HAEBERLE 1930, S. 388). Man brachte die Goldführung der Alluvionen des Alpenrheins mit dem seit Beginn des 19. Jahrhunderts bekannten Berggold-Vorkommen am Calanda bei Chur in Verbindung (NIGGLI & STROHL 1924, S. 320; „Der Rhein hat in der Nähe von Chur Gold, das aus dem Gebiete des Calanda stammt“). Die von KÜNDIG & DE QUERVAIN (1953) herausgegebene Übersichtskarte zu den „Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz (1:600000)“ zeigt unterhalb Chur die Signatur der Goldwäscherei und oberhalb westlich der Stadt bei Felsberg die für das Calanda-Berggold (vgl. S. 7)[3].

Über die durch H. v. LEWINSKI seit 1958 betriebene Goldgewinnung in Kiesgruben am Oberrhein habe ich berichtet; sie lieferte den Stoff für meine Untersuchungen (1965, S. 55—67). Vom 1. August bis zum 14. September 1958 hat H. v. LEWINSKI einen Waschversuch in Vorarlberg vorgenommen, und zwar am Alpenrhein westlich von Bregenz. Dieser erfolgte im Mündungsgebiet des neuen Rheinlaufs durch den Einbau seines Gerätes in die Wäsche des Kieswerks Dr. F. BOHNER bei Fussach. Eine nicht bekannte Aufgabemenge erbrachte 0,3 g eines goldreichen

[2] Seine 1572 erschienene Schrift ist besonders durch eine von J. R. SALTZMAN vorgenommene Neuausgabe bekannt geworden (Straßburg 1612; S. 157—195 „Von dem Rhein“, S. 160 „Goldschlich“); vgl. auch LAUTERBORN 1938 (S. 83/84).

[3] Auch um 1802 soll zu Felsberg bei Chur am Alpenrhein etwas Gold gewaschen worden sein (vgl. RÜTIMEYER 1927, S. 45).

Konzentrats, aus dem ich 0,0387 g Gold abtrennen konnte. Die Bearbeitung des bescheidenen Quantums hat die nachstehenden Befunde ergeben[4].

Die Beschaffenheit des Alpenrhein-Goldes

Bereits bei der Betrachtung des bei Fussach erwaschenen Konzentrats ohne optische Hilfsmittel erkennt man feine silberweiße bis speisgelbe Teilchen und etwas gröberes gelbes Gold. Unter dem Mikroskop zeigen die helleren Bestandteile vorwiegend eine körnige Form. Auch gestreckte drahtartige und hakige Komponenten sind vorhanden. Ein fast silberweißes, 0,6 mm langes und 0,35 mm breites Körnchen ist mit Andeutungen verzerrter Oktaeder versehen, also ein winziges Kristallaggregat. Das mit dem „Weißgold" durch Übergänge verbundene gröbere Gold besitzt besonders plattige Beschaffenheit; die Ränder solcher Teilchen sind vorwiegend gerundet. Nicht selten zeigen sie ein- bis mehrfache Faltung, die auch an den oberrheinischen Goldflittern häufig vorkommt. Die Dicke der Plättchen beträgt zwischen 0,03 und etwa 0,2 mm. Sie ist bei dem feinen Gold aus den Alluvionen des Oberrheins mit durchschnittlich 0,017 mm wesentlich geringer. Die Messungen an den Bestandteilen des Konzentrats von Fussach lieferten folgende Ergebnisse (Tafel I, Fig. a):

	Größen der Goldteilchen (in mm)	Durchschnittsgrößen der Goldteilchen (in mm)	Vorwiegende Größeklassen der Goldteilchen (in mm und %)
Helles Gold . .	0,062 – 0,744	0,242	0,15 – 0,25 (39,62)
Gelbes Gold	0,073 – 1,667	0,360	0,20 – 0,35 (44,17)

Die Meßwerte bestätigen die besondere Größe des plattigen gelben Goldes. 73 gröbere Teilchen besitzen ein Gesamtgewicht von 12,3 mg, wiegen also im Durchschnitt je 0,1685 mg (Tafel I, Fig. b). Die größten der plattigen Partikel zeigen folgende Beschaffenheit:

[4] Den Herren Professor Dr. J. CADISCH (Bern), Dr. A. HARTMANN (Stuttgart; Arbeitsgemeinschaft f. Metallurgie des Altertums), Dipl.-Geologe Dr. W. KÄSS (Freiburg i. Br.), Akad. Rat Dr. J. OTTEMANN (Heidelberg) und Oberlandesgeologe Professor Dr. W. WIMMENAUER (Freiburg i. Br.) bin ich für die Mithilfe zu Dank verpflichtet.

0,9 mg (Taf. II, Fig. a). — Gestrecktes, bis 0,165 mm dickes Plättchen mit gerundeten Kanten, 1,15 mm lang und 0,65 mm breit. Die Oberfläche ist rauh, fein gekörnt und zeigt eine helle Stelle sowie ein schwärzliches Kristallisat von etwa 0,1 mm Durchmesser.

0,8 mg (Taf. II, Fig. b). — Gefaltetes, fast 1,67 mm langes und bis 0,70 mm breites, kantengerundetes Plättchen; seine Dicke beträgt 0,1 mm. Die Oberfläche ist fein gekörnt und rissig.

0,8 mg (Taf. II, Fig. c). — 0,035 bis 0,09 mm dickes, 1,25 mm langes und bis 0,85 mm breites Plättchen mit gerundeten Ecken; die Oberfläche ist deutlich feinkörnig. Auf einer Seite befindet sich ein schwärzliches Kristallisat von fast 0,2 mm Durchmesser.

0,7 mg (Taf. II, Fig. d). — Ungefähr dreieckiges, bis 0,085 mm dickes Plättchen mit einem größten Durchmesser von 0,77 mm. Die feingekörnte Oberfläche zeigt silberfarbige Flecken.

0,5 mg (Taf. II, Fig. e und h). — 0,83 mm langes, bis 0,52 mm breites kantengerundetes Plättchen; seine Dicke beträgt 0,07 mm. Aus der feingekörnten Oberfläche ragt ein schwärzliches Kristallisat von 0,2 mm Durchmesser.

0,4 mg (Taf. II, Fig. f). — Dreifach gefaltetes, 0,05 mm dickes, feingekörntes Plättchen mit gerundeten Rändern, 0,95 mm lang und bis 0,65 mm breit.

0,2 mg (Taf. II, Fig. g). — Rundliches, 0,05 mm dickes feinkörniges Plättchen von 0,75 mm größten Durchmesser; der Rand ist an einer Stelle eingefaltet.

Nur wenige Teilchen besitzen eine Kupferfarbe, die auch bei ihrer Behandlung mit verdünnten Säuren erhalten bleibt. Ob und in welchem Umfang das von Ramdohr (1965, S. 89 u. 94/95) in den oberrheinischen Wasch-Konzentraten festgestellte Auricuprid vorliegt, sei dahingestellt. Nach dem erzmikroskopischen Befund sind einige Teilchen von Cuprit umkrustet. Seine Grenze gegen das Gold ist unregelmäßig buchtig; gelegentlich zeigt das Rotkupfererz idiomorphe Umrisse (Taf. I, Fig. c).

Die warzenartigen schwärzlichen Kristallisate sind Aggregate der Körnchen eines Erzminerals, das mit dem Gold verwachsen ist. Sein Reflexionsvermögen liegt zwischen dem des Bleiglanzes und Silbers; die Schleifhärte unterschreitet die des Goldes. Nach den optischen Eigenschaften ist die Bestimmung des Minerals nicht möglich. Die Röntgen-Fluoreszenz-Analyse erbrachte neben Au und Ag die Elemente Hg, Pb, Fe, Cu und Zn. Eine Untersuchung mit der Elektronen-Mikrosonde hat zusätzlich Se, S, Te, Bi und Pt ergeben. Durch die spektralchemische Analyse konnte im Alpenrhein-Gold kein Platin nachgewiesen werden. Feinste Pt-Körnchen fand Ramdohr (1965, S. 92) in den oberrheinischen Wasch-Konzentraten; neuerdings ergaben sich auch andere Metalle der Platin-Gruppe.

Die das Gold nach diesen Befunden begleitenden Elemente können nicht mit Sicherheit einem den Kristallisaten entsprechenden, bestimmten Mineral zugeordnet werden. Zwar lassen sich die

nächst dem Gold häufigsten Elemente zu bekannten Mineral-Formeln vereinigen. Einige wichtige Bestandteile sind jedoch nicht in sie einzubeziehen. Ferner stimmt die Beschaffenheit der Kombinationen keinesfalls mit den erzmikroskopisch festgestellten Eigenschaften der Kristallisate überein. Diese Gebilde sind dem Gold eingewachsen gewesen und gelangten nach ihrem jetzigen Auftreten bei seiner plattigen Verformung an die Oberfläche. Sowohl röntgenfluorimetrisch als auch mit der Elektronen-Mikrosonde ist ein Hg-Gehalt nachweisbar. In oberrheinischen Wasch-Konzentraten fand RAMDOHR (1965, S. 92) winzige Körnchen von Zinnober. Gold dieser Herkunft und solches aus den Alluvionen im schweizerischen Mittelland enthält nach A. HARTMANN 0,03 bis 0,6% Hg, das spektrometrisch festgestellt werden konnte. Auch das Berggold vom Calanda soll Quecksilber führen (vgl. S. 7). Ob das Element dem Alpenrhein-Gold oder den mit ihm verwachsenen Kristallisaten angehört, muß unentschieden bleiben.

Die Herkunft des Alpenrhein-Goldes

Mit den Bestandteilen der Fluß-Sande im Einzugsbereich des Alpenrheins haben sich MÜLLER & HAHN (1964, S. 371—375) beschäftigt; allerdings fanden die opaken Mineralien keine Beachtung (vgl. auch MÜLLER & SCHÖTTLE 1965, S. 26—29). Bezeichnend ist eine Assoziation von Granat-Hornblende-Epidot mit Staurolith und Disthen. Untergeordnet sind Rutil, Titanit und Turmalin vorhanden. Die ungefähre Zusammensetzung goldführender Wasch-Konzentrate oberrheinischer Herkunft und vom Alpenrhein wird durch die folgenden Angaben über ihre wichtigsten Schwer-Mineralien erläutert (Anteile in Korn-%):

Mineralien	Oberrhein (Steinmauern)	Alpenrhein (Fussach)
Hämatit, Martit	64	30
Granat	17	22
Zirkon	7	6
Magnetit	4	16
Ilmenit	3	6
Rutil	3	2
Pyrit	(vorhanden)	12

Für das Konzentrat von Fussach sind das vergleichsweise Zurücktreten des Hämatits und Martits, der erhebliche Anteil des Magnetits und Ilmenits sowie die reichlich vorhandenen blutroten Granate bezeichnend. Die Häufigkeit des Pyrits und unbeschädigte Kriställchen dieses Minerals dürften auf seine Zufuhr aus den

oberhalb des Waschortes anstehenden kretazeischen Sedimenten deuten. Der Bestand an Schwer-Mineralien ist nicht geeignet, über die Herkunft des Goldes zu belehren. Die erwähnten Komponenten können sowohl aus dem Kristallin als auch aus Gesteinen des Mesozoikums und Tertiärs stammen.

Das insbesondere von CADISCH (1939, S. 7—14) beschriebene Berggold-Vorkommen am Calanda bei Chur befindet sich auf Calcit-Quarz-Gängen in Kalkschiefern des Unteren Doggers (vgl. auch BRÄUHÄUSER 1920, S. 281—286). Über die Beschaffenheit des Edelmetalls fehlen nähere Angaben; als begleitende Erz-Mineralien sind Pyrit und untergeordnet Arsenkies festgestellt. Das Calanda-Gold soll „sehr rein" gewesen sein und mitunter 23 Karat (95,8% Au) gehalten haben (vgl. NIGGLI, KOENIGSBERGER & PARKER 1940, S. 115; PARKER 1954, S. 236/237)[5]. Eine von A. HARTMANN vorgenommene spektrometrische Untersuchung erbrachte 6% Ag, 0,08% Cu, 0,009% Pb und 0,06% Hg. Auf 90,6% Au und 9,4% Ag deutet die Röntgen-Fluoreszenz-Analyse des Goldes der in den Badischen Landessammlungen für Naturkunde zu Karlsruhe befindlichen Calanda-Stufe.

Ein Zusammenhang des alpenrheinischen Goldfundes in Vorarlberg mit dem Calanda-Gold und etwaigen alpinen Lagerstätten des gleichen Typus erscheint mir nicht gegeben. Insbesondere zeugt der als Elektrum anzusehende silberweiße bis speisgelbe Anteil im Wasch-Konzentrat von Fussach gegen eine solche Herkunft. Auch fehlen dem Calanda-Gold den ungedeuteten Kristallisaten vergleichbare Einschlüsse. Die nicht plattig verformten Bestandteile des Waschgoldes, etwa das Kristallkörnchen, unterlagen keinem weiten Transport und sind in der Nachbarschaft ihres Fundortes aus Geröllen freigelegt worden. Sie entsprechen in dieser Hinsicht dem „groben Gold" des Oberrheingebiets.

Nach alten Angaben soll Gold auch in Alluvionen am Hinterrhein vorkommen, z. B. bei Andeer im Schams (vgl. SCHEUCHZER 1746, S. 353; PLATTNER 1878, S. 3/4; BRÄUHÄUSER 1920, S. 357; VOLLRATH 1928, S. 238). Seine erste Lagerstätte, die in den Bergen um das Rheinwaldhorn vermutet wird, ist bis heute unbekannt. Immerhin besteht die Möglichkeit, daß das Gold des Alpenrheins zu einem Teil aus dem Quellgebiet des Hinterrheins stammt. An der Existenz der alten Goldwäschereien bei Chur und Maienfeld ist nach dem Auffinden des Edelmetalls bei Fussach in Vorarlberg nicht mehr zu zweifeln.

[5] Nach J. C. DEICKE (in WALKMEISTER 1889, S. 311) ist das Gold vom Calanda 22 bis 23karätig (91,7—95,8% Au).

Erzvorkommen, die einen geringen Goldgehalt besitzen könnten, sind aus dem Vorder- und Hinterrheingebiet bekannt (vgl. KÜNDIG & DE QUERVAIN 1953, S. 128 u. 133/134). Bergbauliche Bedeutung hatten in alter Zeit z. B. die kleinen Lagerstätten um Andeer in der Landschaft Schams am mittleren Hinterrhein. Sie lieferten silberhaltige Blei- und Kupfererze (vgl. ESCHER 1935, S. 5—39 u. 99—104 Schams). Der Inhaber der Freiherrschaft Haldenstein, THOMAS I. VON SCHAUENSTEIN ZU EHRENFELS (1563—1628), pachtete 1611 hinterrheinische Bergwerke, besonders die im Schams gelegenen Gruben auf den Alpen Taspin und Ursèra. Aus den geringen Mengen des gewonnenen Bergsilbers hat der Freiherr mit kaiserlichem Privileg sowohl Halbtaler (1620) als auch Taler (1621, 1623) prägen lassen. Beide Nominale zeigen die Umschrift ARGENT(um) RECENS CAVAT(um); mit den gleichzeitigen Kleinmünzen sollen sie aus schlechtem Silber bestehen. Nachrichten über einen Goldgehalt der im Hinterrheingebiet angetroffenen Erze liegen nicht vor. Ein Taler 1623 der Freiherrschaft Haldenstein ist der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse unterzogen worden[6]. Das 27,30 g schwere Stück enthält 95,9% Ag, 3,6% Cu und etwa 0,4% Pb; Goldspuren bis zu 0,01% sind vorhanden. Gegenüber dem 1566 vereinbarten Reichstaler (88,9% Ag) ist das Gepräge von wesentlich feinerem Silber. Sein geringer Goldgehalt erscheint mir im Zusammenhang mit dem Vorkommen des Edelmetalls in den Alluvionen des Alpenrheins bemerkenswert. Von den Mineralien der erwähnten Lagerstätten können sowohl die Fahlerze als auch Arsenkies, Kupferkies und Pyrit goldführend sein. Schließlich sei erwähnt, daß nach SCHEUCHZER (1746, S. 353) „Gold-Ertze" im Vorderrheingebiet bei Disentis anstehen sollen; vom benachbarten Sedrun ist Berggold bekannt (vgl. KÜNDIG & DE QUERVAIN 1953, S. 142; PARKER 1954, S. 110 u. 262). Goldreichere, der eiszeitlichen Abtragung erlegene Abschnitte der hinter- und vorderrheinischen Vererzungen könnten den Alluvionen das Edelmetall zugeführt haben. Die gleiche Möglichkeit besteht allerdings auch für andere Lagerstätten in Graubünden, z. B. die Fahlerz-Kupferkiesgänge am Rothorn bei Parpan (DE QUERVAIN 1931, S. 51—70; S. 57 u. 62, geringer Goldgehalt im Gangquarz)

[6] Vgl. TRACHSEL 1866 (S. 237 Nr. 835, im Stempel aus 1632 veränderte Jahreszahl; Slg. F. KIRCHHEIMER). Nach dem Befund beruht die fast stets schlechte Erhaltung der Bergbau-Gepräge nicht auf dem fälschlich angenommenen geringen Silbergehalt, sondern ist eine Folge des flachen Stempelschnitts und häufigen Umlaufs. Der untersuchte Taler ist zu 15 Lot 6 Grän ausgebracht worden und demnach ein Feinsilber-Gepräge seiner Zeit, aber von geringerem Gewicht als der Reichstaler (29.232 g).

oder die Vorkommen im Bereich des Landwassers und an der unteren Albula (ESCHER 1935, S. 40—63 u. 105—112). Die Inkrustation einiger Waschgold-Teilchen durch Cuprit deutet auf ihre Herkunft aus der Oxydationszone einer Cu-reichen Lagerstätte.

Vom oberrheinischen Gold ist das Edelmetall des Alpenrheins wesentlich verschieden. Insbesondere fehlt in den bei Rastatt, Karlsruhe und Bruchsal erwaschenen Konzentraten das vorwiegend körnige Elektrum. Ferner enthält das oberrheinische Gold keine den Kristallisaten vergleichbaren Einschlüsse; ihm sind nach RAMDOHR (1965, S. 94/95) lediglich Pyrit und Limonit eingewachsen. Die für zahlreiche Flitterchen oberrheinischer Provenienz festgestellte, von der Oberfläche ausgehende Entsilberung konnte an den Bestandteilen des Konzentrats von Fussach nicht bemerkt werden. Das Zurücktreten des „roten Goldes" besitzt keine besondere Bedeutung, da nach meinen Befunden das gegenüber dem silberhaltigen Edelmetall härtere Auricuprid bei längerem Transport der Teilchen eine Anreicherung erfährt (1965, S. 61).

Der Goldgehalt der bei Fussach lagernden älteren Alluvionen des Alpenrheins ist sehr gering. Aus 22 kg Grobsand konnten 4 Flitterchen von einer 0,3 mm unterschreitenden Größe erwaschen werden. Demnach dürfte der Kubikmeter etwa 350 Goldteilchen, also ungefähr 2,1 mg Au führen. Der Goldgehalt liegt noch unter dem der Niederterrassen des Oberrheingebiets mit annähernd 4 mg/m^3 (vgl. KIRCHHEIMER 1965, S. 57/58). Die heute im Delta des neuen Rheins entstehenden carbonatreichen Feinsande sind nach dem Ergebnis eines Waschversuchs goldfrei.

Vergleichende Betrachtungen über das Waschgold des schweizerischen Mittellandes

Die alten Goldwaschorte in der Schweiz sind von KÜNDIG & DE QUERVAIN (1953, S. 142/143 u. 192) nachgewiesen worden; ihre Lage ergibt sich aus der Übersichtskarte zu den „Fundstellen mineralischer Rohstoffe" Das auf sie bezügliche wichtigste Schrifttum habe ich zusammengestellt (1965, S. 81—85). Über die Beschaffenheit des insbesondere im schweizerischen Mittelland vorkommenden Seifengoldes fehlen nähere Angaben. Nach alten Berichten sollen die Alluvionen sowohl feine Flitter als auch gröbere Teilchen und „Nuggets" des Edelmetalls führen. Einen Vergleich mit dem rheinischen Gold hat man zu keiner Zeit vorgenommen.

Vom Naturhistorischen Museum Bern erhielt ich drei Waschproben aus dem Napfgebiet und ein an der unteren Aare gewonnenes goldführendes Konzentrat[7]. Dieses Material ist nach den

[7] Herrn Dr. H. A. STALDER (Bern) danke ich für seine sachdienlichen Auskünfte.

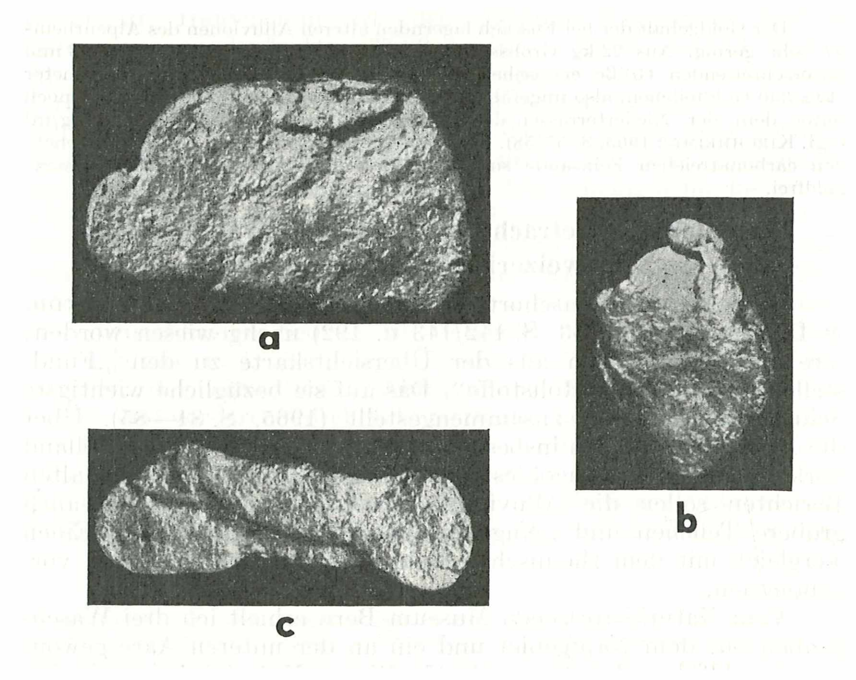
Grundsätzen der Bearbeitung des Goldes der ober- und alpenrheinischen Alluvionen untersucht worden. Folgende Angaben kennzeichnen die Herkunft der schweizerischen Proben und die Beschaffenheit ihrer Goldteilchen:

1. 13,1 mg Waschgold vom Grünenbach bei Sumiswald (Napfgebiet). — Vorwiegend rundliche Plättchen von goldgelber Farbe, mit feinkörnigen Oberflächen, nicht selten gefaltet; durchschnittliche Dicke 0,030 mm.

2. 7,2 mg Waschgold vom Grünenbach bei Sumiswald, 1883 gewonnen (Napfgebiet). — Rundliche goldgelbe Plättchen mit feingekörnten, stellenweise gestriemten Oberflächen, häufig gefaltet; durchschnittliche Dicke 0,025 mm.

3. 414,4 mg Waschgold vom Krümpelgraben südlich Trubschachen, 1933 gewonnen (Napfgebiet). — Vorwiegend Plättchen mit gerundeten Kanten, nicht selten gefaltet, auch einzelne Körnchen, sämtliche Bestandteile von goldgelber Farbe, feingekörnt; Dicke in der kleinen und mittelgroßen Fraktion 0,04—0,2 mm.

4. 4,1 mg Waschgold, unterhalb von Aarau gewonnen (Aare). — Vorwiegend rundliche hellgoldgelbe Flitterchen mit feinkörnigen bis genarbten Oberflächen, häufig gefaltet; durchschnittliche Dicke 0,019 mm.



Textabb. 1: Besonders schwere Waschgold-Teilchen von Trubschachen im Napfgebiet (Schweiz). a 104,5 mg; b 33,0 mg; c 28,4 mg (etwa 10mal vergrößert).

Sowohl die Größen- als auch die Gewichtsbestimmungen besitzen nur bedingten Wert, da die Proben lediglich 22 bis 40 Goldteilchen enthalten und einer Selektion unterlegen sein könnten. Immerhin sind die Befunde geeignet, meine Angaben über die Beschaffenheit schweizerischen Seifengoldes zu ergänzen. Folgende Werte konnten ermittelt werden:

Herkunft des Waschgoldes	Größen der Goldteilchen (in mm)	Durchschnittsgrößen der Goldteilchen (in mm)	Durchschnittsgewichte der Goldteilchen (in mg)
a) Napfgebiet			
Sumiswald (o. J.) . .	0,869 – 1,760	1,215	0,542
Sumiswald (1883) . .	0,315 – 1,692	0,992	0,277
Trubschachen (1933) .	0,478 – 5,335	2,006	10,036
b) Untere Aare			
Aarau (o. J.)	0,334 – 1,211	0,789	0,199

Nach der einheitlich goldgelben Farbe der Teilchen enthalten die vier Waschproben weder das „rote Gold" der oberrheinischen Vorkommen noch das silberweiße bis speisgelbe Elektrum des in Vorarlberg gewonnenen Konzentrats alpenrheinischer Herkunft. Das Gold von Sumiswald im Napfgebiet besitzt die Gestalt feiner Plättchen, die durchschnittlich wesentlich größer und dicker sind als die erheblich leichteren Flitterchen der Niederterrassen am Oberrhein. Auch die Bestandteile des Alpenrhein-Goldes unterschreiten seine Mittelgröße und haben ein geringeres Gewicht. Von den schweizerischen Vorkommen zeigt das an der unteren Aare erwaschene Gold besondere Feinheit. Die mittlere Dicke übertrifft die der im Durchschnitt um etwa drei Viertel kleineren oberrheinischen Flitterchen nur unerheblich. Der vom goldführenden Napfgebiet entfernt liegende Waschort hat die leichtesten Goldteilchen schweizerischer Herkunft geliefert. An der Aare fand sich auch wesentlich gröberes Gold, z. B. unterhalb Aarau bei Brugg, und zwar in Spalten oder Strudellöchern der Jurakalke (vgl. NIGGLI & STROHL 1924, S. 318—321)[8].

Im Napfgebiet ist unweit Trubschachen ein besonders grobes Gold erwaschen worden. Selbst die Bestandteile von mittlerer Größe besitzen ein höheres Gewicht als die schwersten Goldplättchen und Körner in den Niederterrassen am Oberrhein[9]. Man

[8] MOESCH (1867, S. 253) hat „Körner gediegenen Goldes von der Größe einer starken Bohne" erwähnt.

[9] Von Herrn Professor Dr. P. RAMDOHR (Heidelberg) erhielt ich zwei 5,6 und 3,4 mg schwere Goldkörnchen aus einem 1965 im Kies- und Schotterwerk K. SÄMANN G.m.b.H. zu Bruchhausen gewonnenen Konzentrat (vgl. 1965, S. 63/64). Das in meiner Abhandlung als Abb. 5 veranschaulichte, im Text irrtümlich auf Bruchhausen bezogene winzige Blech stammt von Neumalsch.

kann annehmen, daß das bei Trubschachen gefundene Gold keinem weiten Transport unterlag, sondern in der Nachbarschaft des Waschortes aus den Molasse-Schichten freigelegt wurde. Die drei schwersten Stückchen besitzen folgende Beschaffenheit:

Textabb. 1a (104,5 mg; Goldwert nahezu 0,5 DM). — Etwa 5,3 mm langes bis 3,3 mm breites Plättchen mit gerundeten Kanten; seine Dicke beträgt 0,3 bis 0,6 mm.

Textabb. 1b (33,0 mg). — Rundliches, mehrfach gefaltetes Teilchen mit einem Durchmesser von ungefähr 2,9 mm; einfache Dicke 0,2—0,4 mm.

Textabb. 1c (28,4 mg). — Etwa 4,9 mm langes, bis 1,8 mm breites und 0,15 Millimeter dickes, gefaltetes Teilchen.

Sowohl das Gold schweizerischer Herkunft als auch die Teilchen der ober- und alpenrheinischen Waschproben zeigen gleichartige Oberflächen; sie sind durch feine Körnigkeit unregelmäßig „chagriniert". Ferner ist das häufige Vorkommen der auf dem Transport entstandenen, nicht selten mehrfachen Faltung ein ihnen gemeinsames Merkmal. Den Silbergehalt des bei Trubschachen erwaschenen Goldes hat A. HARTMANN spektrometrisch zu 2 bis 4% bestimmt. Mit der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse wurden im größten Stückchen dieser Herkunft (Textabb. 1a) 97,7% Au und 2,3% Ag festgestellt. Der Silberanteil des Waschgoldes von Sumiswald beträgt nach A. HARTMANN 1% (o. J.) und 8% (1883); das an der Aare gewonnene Gold führt 2% Ag. Der Goldgehalt der in den Niederterrassen des Oberrheins vorkommenden Flitterchen ist nach meinen Erhebungen mit bis zu 94,6% anzunehmen, zeigt aber waschortbedingte Unterschiede (1965, S. 66). Bemerkenswert sind die von A. HARTMANN in den oberrheinischen und schweizerischen Proben gefundenen Hg-Gehalte; das Aare-Gold soll 0,6% Hg führen. Allerdings enthält auch das bei Fussach in Vorarlberg erwaschene Edelmetall etwas Quecksilber[10]. Dieses Element ist nicht selten in Berg- und Waschgoldproben der verschiedensten Herkunft angetroffen worden.

Das Gold der von mir beschriebenen rheinischen Quarzgerölle ist mit 26,3 und 28,6% Ag silberreich, ohne eine dem künstlich hergestellten Elektrum entsprechende Farbe zu zeigen (1965, S. 71 u. 74)[11]. Dagegen besitzen die erwaschenen Teilchen mit Ausnahme der hellen Fraktion des Vorkommens in Vor-

[10] In den goldführenden Alluvionen von Sumiswald soll freies Quecksilber vorgekommen sein (vgl. RÜTIMEYER 1927, S. 49—51). Die alten Berichte sind in Zweifel zu ziehen.

[11] Nachgetragen sei die Angabe, daß in Südböhmen gefundenes Berggold mit nur 53,0% Au ebenfalls „sattgoldig" aussieht (vgl. ŽELÍTZKO 1928, S. 71 u. 74). Das heutige Juwelier-Weißgold ist eine Pd-Legierung mit 75% Au.

arlberg einen wesentlich höheren Goldgehalt. Der erste Befund steht im Widerspruch zu der auf dem Transport und in den Seifen eintretenden Entsilberung des Edelmetalls. Man sollte annehmen, daß sie auch das an der Oberfläche der Quarzgerölle sichtbare Gold betroffen hat. Weitere Untersuchungen müssen die Erhaltung seines Silbers zu erklären trachten.

Der seit alter Zeit angenommene Zusammenhang des Goldes der rheinischen Alluvionen mit dem Vorkommen des Edelmetalls im schweizerischen Mittelland wird durch die vergleichende Analyse der Konzentrate bestätigt. Das auf die Niederterrassen des Oberrheins beschränkte „rote Gold" zeugt nicht gegen ihn, da das Auricuprid durch seine gegenüber dem silberhaltigen Gold größere Härte und geringere Duktilität auf dem Transport angereichert wurde (vgl. S. 9). Noch ist nicht gewiß, in welchen Schichten der Molasse des Napfgebiets und seiner Nachbarschaft das aus alten, längst abgetragenen Quarzgängen der Alpen stammende Gold vorkommt. Als Seifenlagerstätten sind die Konglomerat-Bänke und Sandsteine in Betracht zu ziehen. Auf meine diese Ansicht bekundenden Darlegungen wird hingewiesen (1965, S. 78/79; vgl. auch Burri 1931, S. 313–315).

In den oberrheinischen Alluvionen erfolgte weder die Neubildung von Gold aus Lösungen noch ein Wachstum vorhandener Teilchen durch Konkretion. Auch das „grobe Gold" des Vorkommens in Vorarlberg und der Wasch-Konzentrate aus dem schweizerischen Mittelland ist nicht durch einen zementativen Prozeß entstanden oder vergrößert worden. Selbst das etwa 0,1 g schwere „Nugget" von Trubschachen zeigt eine Beschaffenheit, die der eines abgeriebenen und plattig verformten Berggold-Fragments entspricht.

Zusammenfassung

Die Eigenschaften des Goldes eines bei Fussach in Vorarlberg erwaschenen Konzentrats alpenrheinischer Herkunft werden mit denen des Edelmetalls aus den oberrheinischen Niederterrassen verglichen. Der wesentlichste Unterschied besteht im Vorhandensein silberweißer bis speisgelber, dem Elektrum entsprechender Teilchen. Diese fehlen sowohl dem oberrheinischen Gold als auch in Waschproben aus dem schweizerischen Mittelland.

Ein Zusammenhang des Goldvorkommens von Fussach mit dem Auftreten des Berggoldes am Calanda bei Chur ist unwahrscheinlich. Erörtert wird die Möglichkeit, daß das Edelmetall aus abgetragenen Abschnitten der im Hinter- und Vorderrheingebiet vorhandenen Pb-Cu-Lagerstätten mit Fahlerzen stammt. Die auf

das 16. Jahrhundert zurückgehenden Berichte über alpenrheinische Wäschereien bei Chur und Maienfeld erhalten durch den Nachweis des Goldes bei Fussach die Glaubwürdigkeit.

Schriftennachweis

BRÄUHÄUSER, M., 1920: Goldfunde und Goldgewinnung zwischen Rätien und Mittelrhein. — Schwäb. Bund *1* (1920).

BURRI, C., 1931: Schwere Mineralien aus den Goldsanden des Napfgebietes.— Verh. schweiz. naturforsch. Ges., 112. Jahresvslg. (1931).

CADISCH, J., 1939: Die Erzvorkommen am Calanda, Kantone Graubünden und St. Gallen. — Schweiz. miner. petrogr. Mitt. *19* (1939); vgl. auch Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Ser., kl. Mitt. *7* (1939), S. 1—20.

ESCHER, E., 1935: Erzlagerstätten und Bergbau im Schams, in Mittelbünden und im Engadin. — Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Ser. *18* (1935).

HAEBERLE, D., 1930: Das Rheingold, seine Herkunft, Gewinnung und Verwendung. — Geogr. Z. *36* (1930); vgl. auch Mitt. Arb. geol. Inst. Univ. Heidelberg, N. F. *192* (1930), S. 1—19.

KIRCHHEIMER, F., 1965: Über das Rheingold. — Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg *7* (1965); S. 81—85 Schrifttum.

KÜNDIG, E. & F. DE QUERVAIN, 1953: Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. — II. Ausg. (Bern 1953).

LAUTERBORN, R., 1938: Der Rhein. — Bd. 1, II. Hälfte, Abt. II (Ludwigshafen 1938).

MEUSEL, J. G., 1778: Vom Rheingold. — Geschichtsforscher, 6. Teil (Halle a. d. S. 1778).

MOESCH, C., 1867: Geologische Beschreibung des Aargauer Jura und der westlichen Gebiete des Kantons Zürich. — Beitr. geol. Kte. Schweiz *4* (1867).

MÜLLER, G. & C. HAHN, 1964: Schwermineral- und Karbonatführung der Fluß-Sande im Einzugsgebiet des Alpenrheins. — N. Jb. Miner. 1964, Monatsh. (1964).

MÜLLER, G. & M. SCHÖTTLE, 1965: Schwermineral- und Karbonatführung im Gebiet des Bodensees. — N. Jb. Miner. 1965, Monatsh. (1965).

NEUMANN, B., 1903: Die Gold-Wäscherei am Rhein. — Z. Berg-, Hütten-Salinenw. Preußen *51* (1903).

NIGGLI, P., J. KOENIGSBERGER & R. L. PARKER, 1940: Die Mineralien der Schweizeralpen. — Bd. 1 (Basel 1940).

NIGGLI, P. & J. STROHL, 1924: Zur Geschichte der Goldfunde in schweizerischen Flüssen. — Vierteljahrschr. naturf. Ges. Zürich *69* (1924).

PARKER, R. L., 1954: Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. — Basel 1954.

PLATTNER, C., 1878: Geschichte des Bergbau's der östlichen Schweiz. — Chur 1878.

QUERVAIN, F. DE, 1931: Die Erzlagerstätten am Parpaner Rothorn. — Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Ser. *16*, Heft 2 (1931).

RAMDOHR, P., 1965: Rheingold als Seifenmineral. — Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg *7* (1965).

Rütimeyer, L., 1927: Zur Geschichte der Goldwäscherei in der Schweiz. — Verh. naturf. Ges. Basel *38* (1927).

Scheuchzer, J. J., 1746: Naturgeschichte des Schweitzer-Landes. — I. Teil, hrsg. von J. G. Sulzer (Zürich 1746); S. 350—358 „Von dem Schweitzerischen Golde“.

Thurneisser zum Thurn, L., 1572: Von Kalten/Warmen Minerischen vnd Metallischen Wassern. — Frankfurt a. d. Oder 1572; S. 203—252 (VI. Buch) „Von dem Rhein“.

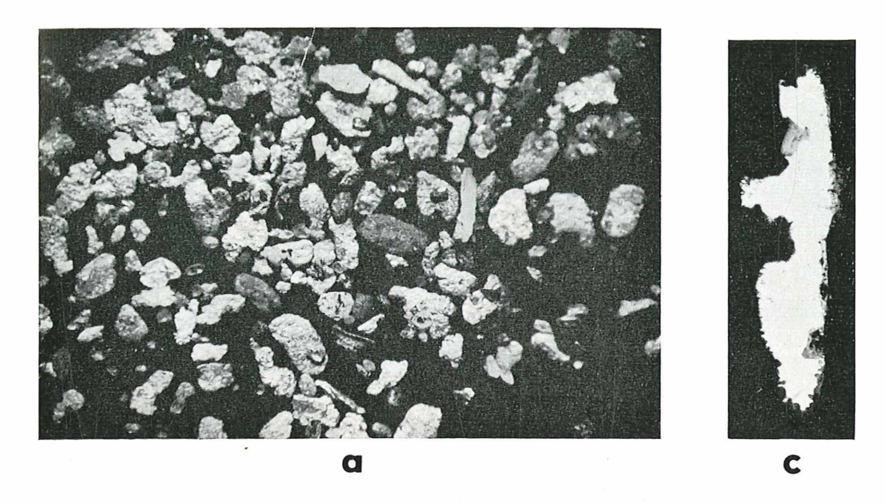
Trachsel, C. F., 1866: Die Münzen und Medaillen Graubündens. — Berlin 1866 (—1898).

Treitlinger, F. L., 1776: De Aurilegio praecipue in Rheno. — Diss. Univ. Straßburg 1776.

Vollrath, P., 1928: Das deutsche Gold. — A. d. Heimat *41* (1928).

Walkmeister, C., 1889: Aus der Geschichte des Bergbaues in den Kantonen Glarus und Graubünden. — Ber. Tätigkeit St. Gallischen naturwiss. Ges. 1887/1888 (1889).

Želítzko, J. V., 1928: Ein interessantes Goldvorkommen in Südböhmen. — Z. prakt. Geol. *36* (1928).



b

Fig. a: Waschgold von Fussach bei Bregenz (Vorarlberg). Plattige, körnige und drahtartige Teilchen unterschiedlicher Größe (etwa 10mal vergrößert).

Fig. b: Waschgold von Fussach bei Bregenz (Vorarlberg). Vorwiegend gelbe Plättchen mit 0,1685 mg Durchschnittsgewicht (etwa 30mal vergrößert).

Fig. c: Queranschliff eines Goldplättchens von Fussach bei Bregenz (Vorarlberg). Gold (weiß), Cuprit (hellgrau); etwa 100mal vergrößert.

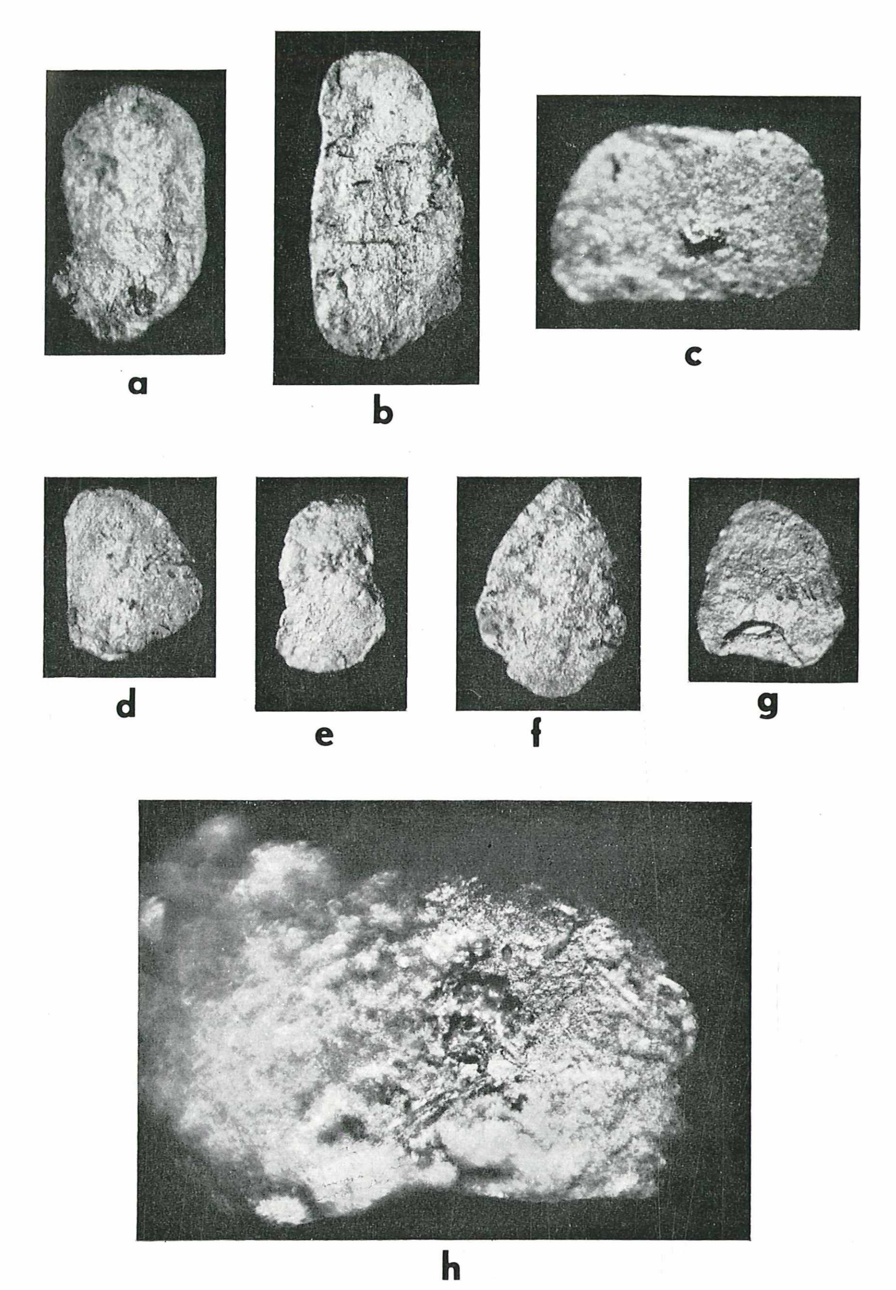


Fig. a—g: Besonders große Goldplättchen von Fussach bei Bregenz (Vorarlberg). a, c und e mit Kristallisaten (etwa 25mal vergrößert).

Fig. h: Goldplättchen (vgl. Fig. e) von Fussach bei Bregenz (Vorarlberg). Man erkennt das aus der feinkörnigen Oberfläche ragende Kristallisat (etwa 100mal vergrößert).